



# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le .....

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (1) 42 93 59 30  
www.inpi.fr

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes the need for transparency and accountability in financial reporting.

2. The second part of the document outlines the various methods and techniques used to collect and analyze data. It includes a detailed description of the experimental procedures and the statistical analysis performed.

3. The third part of the document presents the results of the study. It includes a series of tables and graphs that illustrate the findings of the research. The data shows a clear trend of increasing activity over time.

4. The fourth part of the document discusses the implications of the findings. It suggests that the results have significant implications for the field of study and may lead to further research in this area.

5. The fifth part of the document provides a conclusion and summarizes the main points of the study. It reiterates the importance of accurate record-keeping and the need for ongoing research in this field.

6. The sixth part of the document includes a list of references and a bibliography. It cites various sources that have been consulted during the research process.

7. The seventh part of the document contains a list of appendices and additional information. It includes a detailed description of the equipment used in the study and a list of the personnel involved in the research.

8. The eighth part of the document includes a list of figures and tables. It provides a detailed description of each figure and table and explains how they relate to the findings of the study.

9. The ninth part of the document includes a list of footnotes and a glossary. It provides additional information on specific points mentioned in the text and defines key terms used throughout the document.

10. The tenth part of the document includes a list of acknowledgments and a list of contributors. It expresses gratitude to the individuals and organizations that have supported the research and contributed to the completion of the document.

26bis, rue de Saint-Pétersbourg  
75800 Paris Cédex 08  
Téléphone: 01 53.04.53.04 Télécopie: 01.42.94.86.54

Code de la propriété intellectuelle-livre VI

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

DATE DE REMISE DES PIÈCES - 9 DEC. 1999 N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL DÉPARTEMENT DE DÉPÔT 35 DATE DE DÉPÔT 9915919 09.12.99	Patrice VIDON CENTRE D AFFAIRES LE NOBEL BAT A 2 ALLEE A BECQUEREL BP 90333 35703 RENNES CEDEX 7 France
Vos références pour ce dossier: 5888.bis	

<b>1 NATURE DE LA DEMANDE</b>		
Demande de brevet		
<b>2 TITRE DE L'INVENTION</b>		
Procédé d'égalisation dans des récepteurs utilisant une combinaison des techniques de modulations à porteuses multiples et à accès multiple par répartition de codes		
<b>3 DECLARATION DE PRIORITE OU REQUETE DU BENEFICE DE LA DATE DE DEPOT D'UNE DEMANDE ANTERIEURE FRANCAISE</b>	Pays ou organisation	Date
	FRANCE	14. 09. 99
		N° 99 11689
<b>4-1 DEMANDEUR</b>		
Nom	INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES (INSA)	
Rue	20, av. des Buttes de Coësmes	
Code postal et ville	65700 RENNES	
Pays	France	
Nationalité	France	
Forme juridique	Etablissement public	
<b>5A MANDATAIRE</b>		
Nom	VIDON	
Prénom	Patrice	
Qualité	CPI	
Cabinet ou Société	Cabinet Patrice VIDON	
Rue	Immeuble Germanium	
	80, av. des Buttes de Coësmes	
Code postal et ville	35700 RENNES	
N° de téléphone	02 99 38 23 00	
N° de télécopie	02 99 36 02 00	
Courrier électronique	vidon@vidon.com	
<b>6 DOCUMENTS ET FICHIERS JOINTS</b>		
Description	Fichier électronique	Pages
Revendications		Détails
Listage de séquences		12
Rapport de recherche		

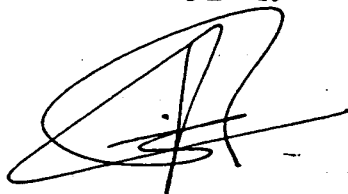


7 RAPPORT DE RECHERCHE				
Etabliss ment immédiat				
8 REDEVANCES JOINTES	Devise	Taux	Quantité	Montant à payer
062 Dépôt	FRF	250.00	1.00	250.00
063 Rapport d recherche (R.R.)	FRF	4 200.00	1.00	4 200.00
068 Revendication à partir de la 11ème	FRF	115.00	2.00	230.00
Total à acquitter	FRF			4 680.00

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

Patrice VIDON

CPI. 92 1250




DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08

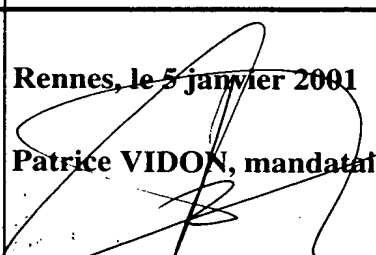
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° ... / ...

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 113 W 260899

<b>V s r 'férences pour ce dossier</b> (facultatif)		<b>5888.Bis</b>	
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL</b>		<b>99/15919</b>	
<b>TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</b>			
<b>Procédé d'égalisation dans des récepteurs utilisant une combinaison des techniques de modulations à porteuses multiples et à accès multiple par répartition de codes</b>			
<b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b>			
<b>INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES</b>			
<b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).</b>			
<b>Nom</b>		<b>HELARD</b>	
<b>Prénoms</b>		<b>Jean-François</b>	
<b>Adresse</b>	<b>Rue</b>	<b>5, rue Charles Demange</b>	
	<b>Code postal et ville</b>	<b>35000</b>	<b>RENNES</b>
<b>Société d'appartenance (facultatif)</b>			
<b>Nom</b>		<b>BAUDAIS</b>	
<b>Prénoms</b>		<b>Jean-Yves</b>	
<b>Adresse</b>	<b>Rue</b>	<b>34 rue Vasselot</b>	
	<b>Code postal et ville</b>	<b>35000</b>	<b>RENNES</b>
<b>Société d'appartenance (facultatif)</b>			
<b>Nom</b>			
<b>Prénoms</b>			
<b>Adresse</b>	<b>Rue</b>		
	<b>Code postal et ville</b>		
<b>Société d'appartenance (facultatif)</b>			
<b>DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (N m t qualit' du signataire )</b>		<b>Rennes, le 5 janvier 2001</b>  <b>Patrice VIDON, mandataire (92-1250)</b>	

# DOCUMENT COMPORTANT DES MODIFICATIONS

PAGE(S) DE LA DESCRIPTION OU DES REVENDEICATIONS OU PLANCHE(S) DE DESSIN			R.M.*	DATE DE LA CORRESPONDANCE	TAMPON DATEUR DU CORRECTEUR
Modifiée(s)	Supprimée(s)	Ajoutée(s)			
6, 7			NON	20 DEC 1999	J P 22 FEV. 2000 A J P
14			OUI	20 DEC 1999	

Un changement apporté à la rédaction des revendications d'origine, sauf si celui-ci découle des dispositions de l'article R 612-36 du Code de la Propriété Intellectuelle, est signalé par la mention « R.M. » (revendications modifiées).

**PROCEDE D'EGALISATION DANS DES RECEPTEURS UTILISANT  
UNE COMBINAISON DES TECHNIQUES DE MODULATIONS A  
PORTEUSES MULTIPLES ET A ACCES MULTIPLE PAR  
REPARTITION DE CODES.**

**1. Domaine général de l'invention**

Le domaine de l'invention est celui de la transmission, et plus précisément de la réception, de signaux numériques multiporteuses. L'invention concerne essentiellement l'égalisation, ou la détection, dans des récepteurs de signaux reposant sur une combinaison des techniques de modulations à porteuses multiples et à accès multiple par répartition de codes.

Le développement et la mise au point de techniques permettant le transfert de données multimédia à haut débit pour un grand nombre d'utilisateurs simultanément est primordial pour les générations futures de communications hertziennes. On cherche donc à développer de nouvelles techniques de transmissions hertziennes permettant de satisfaire toujours mieux aux contraintes d'efficacité spectrale liées à la pénurie du spectre et au nombre croissant d'utilisateurs.

Une approche connue consiste à rechercher une combinaison optimale des techniques de modulations à porteuses multiples à grande efficacité spectrale (de type OFDM) et des techniques d'Accès Multiples par Répartition de Codes (de type AMRC). Ces nouvelles techniques pourront par exemple s'appliquer aux systèmes de radiocommunications mobiles (de type UMTS et post UMTS) ou aux systèmes de communications à l'intérieur ou à l'extérieur des bâtiments pour en augmenter la robustesse et la capacité de transmission.

**2. Etat de l'art**

**2.1 Contexte scientifique**

Depuis 1993, quelques contributions proposant une combinaison des techniques de modulations à porteuses multiples et à étalement de spectre ont été publiées

par quelques équipes internationales [S. Hara, R. Prasad, "Overview of multicarrier CDMA" (IEEE Communications Magazine, décembre 1997, pp 126-133).]. Ainsi, il existe trois familles de systèmes de transmission connues à ce jour combinant les techniques OFDM et AMRC :

- 5 - l'AMRC multiporteuses ou MC-CDMA (Multi-Carrier CDMA),  
l'AMRC multipilotes ou MT-CDMA (Multi-Tone CDMA) et
- l'AMRC multiporteuses à séquence directe ou MC-DS-CDMA (Multi-Carrier Direct-Sequence CDMA).

Elles se distinguent par la manière dont elles combinent les fonctions OFDM et AMRC, par leur technique d'étalement ou d'accès multiples et par leur répartition fréquentielle.

L'invention proposée s'applique notamment, mais non exclusivement, à la première de ces familles, l'AMRC multiporteuses ou MC-CDMA.

## 2.2 Description d'un système MC-CDMA

15 Dans le modulateur MC-CDMA représenté sur la figure 1, et connu en lui-même, le flux de données est tout d'abord étalé dans le domaine fréquentiel en utilisant un code d'étalement, puis transmis sur les différentes sous-porteuses du multiplex OFDM. Une fraction de chaque donnée d'origine, correspondant à un "chip" du code d'étalement de longueur  $L_c$ , est ainsi transmise par chacune des  $N_p$  sous-porteuses.

Ainsi chaque symbole  $x_j^n$ , affecté à l'utilisateur  $j$  (avec  $j = 1, \dots, N_u$ ) et transmis durant l'intervalle  $n$ , est multiplié par son code d'étalement spécifique  $C_j = [c_j^1, c_j^2, \dots, c_j^{L_c}]^T$  de longueur  $L_c$ , où  $[ ]^T$  signifie vecteur transposé.

25 Le vecteur des symboles transmis durant le  $n^{ème}$  symbole MC-CDMA par tous les utilisateurs peut s'écrire  $X^n = [x_1^n, x_2^n, \dots, x_j^n, \dots, x_{L_c}^n]^T$  avec  $x_j^n = 0$  quand l'utilisateur  $j$  n'est pas actif. La matrice des codes  $C$  est alors égale à :

$$C = \begin{bmatrix} c_1^1 & c_2^1 & \dots & c_{L_c}^1 \\ c_1^2 & c_2^2 & \dots & c_{L_c}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_1^{L_c} & c_2^{L_c} & \dots & c_{L_c}^{L_c} \end{bmatrix} \quad (1)$$



où le  $j^{\text{ème}}$  vecteur colonne de  $C$  correspond au code d'étalement  $C_j$  de l'utilisateur  $j$ .

Dans le cas d'une liaison descendante où les différents signaux s'adressant aux différents utilisateurs sont émis de façon synchrone, les codes utilisés sont généralement choisis orthogonaux, ce qui permet d'obtenir en réception une meilleure réjection des interférences entre utilisateurs.

Ainsi, avec des codes de Walsh-Hadamard, le nombre maximal d'utilisateurs est égal au nombre de chips par code. Généralement, le nombre  $L_c$  de chips du code d'étalement est choisi égal au nombre  $N_p$  de sous-porteuses mais des variantes sont possibles pour mieux dimensionner le signal généré vis-à-vis des conditions de transmission (canal, aspect cellulaire,...).

## 2.3 Les techniques de détection

### 2.3.1 Les techniques "traditionnelles" d'égalisation linéaire

Dans un récepteur MC-CDMA, le désétalement est réalisé dans le domaine fréquentiel après l'opération de Transformée de Fourier Directe mise en œuvre dans le démodulateur OFDM comme cela est illustré en figure en figure 1.

L'utilisation de codes orthogonaux, tels que les codes de Walsh-Hadamard dans le cas d'un système synchrone, garantit dans un canal gaussien, l'absence d'interférences d'accès multiple. En revanche, lors d'une transmission dans un canal sélectif en fréquence, l'orthogonalité entre les codes est détruite ce qui crée des interférences entre utilisateurs.

Dans l'hypothèse où la durée de l'intervalle de garde est plus longue que l'étalement de la réponse impulsionnelle du canal, et que celui-ci varie lentement par rapport à la durée du symbole, l'effet du canal sur la  $k^{\text{ème}}$  sous-porteuse peut être approximé sur toute la durée symbole par une composante complexe notée  $h_k$

$$= \rho_k e^{i\theta_k}.$$

Dans ce cas, la matrice du canal est diagonale et égale à :

$$H = \begin{bmatrix} h_1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & h_2 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & h_{N_p} \end{bmatrix} \quad (2)$$

En notant  $N = [n_1, n_2, \dots, n_{N_p}]^T$  le vecteur représentant les termes de bruit et  $n_k$  le terme de bruit affectant la  $k^{\text{ème}}$  sous-porteuse de variance  $\sigma_N^2 = E\{n_k^2\}$ ,  $k = 1, \dots, N_p$ . Le vecteur reçu est alors :

$$R = [r_1, r_2, \dots, r_{N_p}]^T = H.C.X + N \quad (3)$$

La matrice  $G$  de dimension  $N_p \times N_p$  est la matrice des coefficients d'égalisation.

Les techniques de détection mono-utilisateur consistent à détecter le signal utile sans prendre en compte l'interférence entre utilisateurs. Après l'opération de Transformée de Fourier Directe, le signal reçu est égalisé dans le domaine fréquentiel en multipliant chaque symbole reçu par un coefficient  $g_k$  propre à chaque sous-porteuse, dans le but de compenser l'atténuation  $\rho_k$  et le déphasage  $\theta_k$  introduits par le canal à la fréquence considérée.

Les différentes méthodes de détection sont les suivantes (liste non exhaustive) :

- "Maximum Ratio Combining" (MRC) : la méthode MRC est optimale vis à vis du taux d'erreurs dans le cas où un seul utilisateur est actif. Elle consiste à multiplier chaque symbole par la réponse complexe conjuguée du canal :

$$g_k = h_k^* \quad (4)$$

- "Equal Gain Combining" (EGC) : la technique de détection EGC corrige uniquement la distorsion de phase du canal :

$$g_k = h_k^* / |h_k| \quad (5)$$

- "Orthogonality Restoring Combining" (ORC) ou "Zero Forcing" (ZF) : la technique ORC permet d'éliminer intégralement l'interférence entre utilisateurs en restituant l'orthogonalité entre les différents codes

d'étalement. Dans ce cas, les coefficients sont égaux à :

$$g_k = 1/h_k \quad (6)$$

Cependant, le principal inconvénient de cette méthode est que, pour les faibles amplitudes de  $h_k$ , la multiplication par une fonction inverse du canal se traduit par une forte amplification du bruit, ce qui dégrade rapidement le taux d'erreurs.

- "Controlled equalization" (CE) ou "Threshold ORC" (TORC) : la technique CE consiste à multiplier le signal reçu par la fonction inverse du canal uniquement lorsque le module  $|h_k|$  de la réponse fréquentielle du canal pour la porteuse considérée dépasse un certain seuil. Une amélioration de ce procédé peut être obtenue en appliquant l'EGC pour les porteuses ayant été fortement atténuées, ce qui permet de compenser la distorsion de phase du canal pour les sous-porteuses considérées.

### 2.3.2 La technique classique de détection selon le critère du minimum de l'Erreur Quadratique Moyenne ("Minimum Mean Square Error" ou MMSE)

L'égalisation classiquement proposée en MC-CDMA selon le critère MMSE a pour but de minimiser indépendamment sur chaque porteuse  $k$  la valeur quadratique moyenne de l'erreur  $\varepsilon_k$  entre le signal transmis  $s_k$  et son estimation  $\hat{s}_k = g_k \cdot r_k$  générée en sortie de l'égaliseur :

$$J = E\{|\varepsilon_k|^2\} = E\{|s_k - g_k r_k|^2\} \quad (7)$$

Lorsque le nombre d'utilisateurs est égal à la longueur  $L_c$  du code, les coefficients de l'égaliseur selon le critère de la minimisation de l'erreur quadratique moyenne sont égaux à :

$$g_k = \frac{h_k^*}{|h_k|^2 + 1/\gamma_k} \quad (8)$$

où  $\gamma_k$  est le rapport signal à bruit pour la sous-porteuse  $k$ . Lorsque le nombre d'utilisateurs  $N_u$  est inférieur à la longueur  $L_c$  du code, les coefficients de l'égaliseur selon le critère de la minimisation de l'erreur quadratique moyenne sont égaux à :

$$g_k = \frac{h_k^*}{h_k + \frac{L_c}{N_u} \cdot \frac{1}{\gamma_x}} \quad (9)$$

où  $\gamma_x$  est le rapport signal à bruit du symbole transmis  $x$ .

Cela est notamment détaillé dans le document de S. Kaiser, "Analytical performance evaluation of OFDM-CDMA mobile radio systems", (Proceedings First European Personal and Mobile Communications Conference (EPMCC'95), Bologna, Italy, novembre 1995, p 215-220):

De la même façon que dans le cas des autres techniques de détection, la fonction d'égalisation est donc effectuée sur chaque sous-porteuse indépendamment en multipliant dans le domaine fréquentiel chacun des  $N_p$  symboles générés en sortie de la FFT par un seul coefficient  $g_k$  propre à chaque sous-porteuse.

### 3. Objectif de l'invention

L'invention a notamment pour objectif de proposer une nouvelle technique d'égalisation, ou de détection, qui soit plus efficace que les techniques connues présentées ci-dessus en MC-CDMA, en particulier lorsque le système ne fonctionne pas à pleine charge, c'est-à-dire lorsque le nombre d'utilisateurs est inférieur à la longueur  $L_c$  du code d'étalement

### 4. Présentation de l'invention

Cet objectif, ainsi que d'autres qui apparaîtront plus clairement par la suite, sont atteints à l'aide d'un procédé de réception d'un signal mettant en œuvre une modulation à porteuses multiples et à accès multiples par répartition de codes, du type comprenant une étape de démodulation par application d'une transformation mathématique du domaine temporel vers le domaine fréquentiel, une étape d'égalisation (ou de détection) du signal transformé et une étape de désétalement

du signal traité.

Selon l'invention, ladite étape d'égalisation tient compte, pour chacune des composantes dudit signal transformé, des perturbations affectant la porteuse portant ladite composante et au moins une autre desdites porteuses.

Ainsi, l'égalisation est effectuée selon une approche différente des techniques connues, qui reposent simplement sur l'application d'un coefficient multiplicateur sur chaque composante. Selon l'invention, on tient compte de l'ensemble des perturbations du canal de transmission, ou à tout le moins des perturbations dues à certaines de ces porteuses. On vérifie que cette technique permet d'obtenir de meilleurs résultats, notamment lorsque le système ne fonctionne pas à pleine charge.

De façon avantageuse, ladite étape d'égalisation met en œuvre une matrice d'égalisation portant des coefficients d'égalisation du canal de transmission, au moins certains des coefficients autres que les coefficients de la diagonale de la matrice étant parfois non nuls.

Il est ainsi aisé de mettre en œuvre la technique de l'invention, dans les récepteurs.

Avantageusement, les coefficients de ladite matrice de pondération sont déterminés selon la technique du filtrage de Wiener:

Cette matrice de pondération peut ainsi s'écrire :

$$G = H^* \left( H^* C A C^T H^* + \frac{\sigma_N^2}{E_s} I \right)^{-1} \quad (14)$$

avec : H : matrice représentative du canal de transmission ;

C : matrice des codes d'étalement ;

A = {a<sub>jj</sub>} : matrice diagonale avec a<sub>jj</sub> = 1 si l'utilisation j est active et a<sub>jj</sub> = 0

sinon ;

σ<sub>N</sub><sup>2</sup> : variance du bruit affectant chaque sous-porteuse ;

E<sub>s</sub> = E {x<sub>j</sub><sup>2</sup>} : puissance des signaux reçus ;

I : matrice identité.

Lorsque σ<sub>N</sub><sup>2</sup>/E<sub>s</sub> tend vers 0, il peut arriver que cette matrice ne soit pas

inversible. Pour pallier ce problème, on peut prévoir que la quantité estimée  $\sigma_N^2/E_s$ , soit comparée à une valeur seuil, et remplacée par ladite valeur seuil lorsqu'elle est inférieure à cette dernière.

5      Avantageusement, on peut également prévoir que, lorsque la quantité estimée  $\sigma_N^2/E_s$  est inférieure à une valeur seuil, on met en œuvre une technique de détection alternative, telle que la technique dite ORC.

Une autre solution avantageuse à ce problème consiste à déterminer ladite matrice de pondération à l'aide d'un processus itératif mettant en œuvre un algorithme du gradient.

10      Lorsque le procédé de réception met en œuvre une technique de détection multi-utilisateurs non linéaire d'annulation de type parallèle et/ou série, (les différents codes d'étalement des multiples utilisateurs étant connus du récepteur), la même technique d'égalisation est avantageusement utilisée dans une étape d'annulation de l'interférence d'accès multiples, due aux autres utilisateurs.

15      Dans ce cas, ladite étape d'annulation peut être itérative, et comprendre au moins deux étages d'égalisation successifs.

Le procédé de l'invention peut donc comprendre les étapes suivantes :

- une étape initiale délivrant une estimation de l'interférence multi-utilisateur ;
- 20      - une étape de soustraction de ladite estimation de l'interférence multi-utilisateur au signal reçu ;
- une étape d'égalisation sur le signal corrigé ainsi obtenu.

L'invention concerne également le procédé d'égalisation mis en œuvre dans le procédé de réception décrit ci-dessus, ainsi que les dispositifs de réception mettant en œuvre ces procédés.

## 25      5. Liste des figures

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation préférentiel de l'invention, donné à titre de simple exemple illustratif et non  
30      limitatif, et des dessins annexés, parmi lesquels :

- la figure 1 présente un synoptique général d'une chaîne de transmission et de réception MC-CDMA, de type connu ;
- la figure 2 illustre un synoptique général d'une chaîne de transmission et de réception MC-CDMA selon l'invention ;
- la figure 3 est une comparaison des performances de différentes techniques de détection linéaire ;
- la figure 4 présente un synoptique général d'un récepteur MC-CDMA multi-utilisateur non-linéaire à annulation d'interférences parallèle.

## 6. Description d'un mode de réalisation préférentiel

### 6.1 La nouvelle technique de détection proposée (le MMSE matriciel)

Cette nouvelle technique de détection a donc pour but de minimiser l'erreur quadratique moyenne globalement sur l'ensemble du signal reçu. Si on appelle  $\mathbf{W}_j = [w_j^0, w_j^1, \dots, w_j^{N_p}]$  le vecteur de pondération optimal, le symbole restitué au  $j^{ème}$  utilisateur peut s'écrire :

$$\hat{x}_j = \mathbf{W}_j^T \cdot \mathbf{R} = \mathbf{C}_j^T \cdot \mathbf{G} \cdot \mathbf{R} \quad (10)$$

Selon le filtrage de Wiener, le vecteur de pondération optimal est égal à :

$$\mathbf{W}_j = \Gamma_{R,R}^{-1} \cdot \Gamma_{R,x_j} \quad (11)$$

où  $\Gamma_{R,R}$  est la matrice d'autocorrélation du vecteur  $\mathbf{R}$  reçu et  $\Gamma_{R,x_j}$  est le vecteur d'intercorrélation entre le symbole,  $x_j$  et le vecteur du signal reçu,  $\mathbf{R}$ . Ces quantités sont égales à :

$$\begin{aligned} \Gamma_{R,R} &= E\{\mathbf{R}^* \cdot \mathbf{R}^T\} = \mathbf{H}^* \cdot \mathbf{C} \cdot E\{\mathbf{X}^* \cdot \mathbf{X}^T\} \cdot \mathbf{C}^T \cdot \mathbf{H} + E\{\mathbf{N}^* \cdot \mathbf{N}^T\} \\ \Gamma_{R,x_j} &= E\{\mathbf{R}^* \cdot x_j\} = \mathbf{H}^* \cdot \mathbf{C} \cdot E\{\mathbf{X}^* \cdot x_j\} \end{aligned} \quad (12)$$

où (\*) signifie complexe conjugué. Le vecteur de pondération optimal est alors égal à :

$$\mathbf{W}_j^T = E\{x_j \cdot \mathbf{X}^{*T}\} \cdot \mathbf{C}^T \cdot \mathbf{H}^* \cdot (\mathbf{H} \cdot \mathbf{C} \cdot E\{\mathbf{X} \cdot \mathbf{X}^{*T}\} \cdot \mathbf{C}^T \cdot \mathbf{H}^* + E\{\mathbf{N} \cdot \mathbf{N}^{*T}\})^{-1} \quad (13)$$

Si les différents bruits affectant les sous-porteuses ont la même variance et sont

indépendants, alors  $E\{N.N^{*T}\} = \sigma_N^2.I$  où  $I$  est la matrice identité. Si les différents signaux des utilisateurs ont la même puissance ( $E\{x_j^2\} = E_s$ ) et sont indépendants, on peut écrire que  $E\{X.X^{*T}\} = E_s.A$ , où  $A = \{a_{ij}\}$  est une matrice diagonale avec  $a_{jj} = 1$  si l'utilisateur  $j$  est actif et  $a_{jj} = 0$  si l'utilisateur  $j$  est inactif. La matrice des coefficients d'égalisation est alors égale à :

$$G = H^* \left( H.C.A.C^T.H^* + \frac{\sigma_N^2}{E_s}.I \right)^{-1} \quad (14)$$

Bien sûr, les conditions citées dans le paragraphe précédent sur la variance et l'indépendance des bruits affectant les différentes sous-porteuses d'une part et sur la puissance des signaux ne sont absolument pas nécessaires pour valider l'approche.

Dans le cas de la pleine charge ( $N_u = L_c$ ), et lorsqu'on utilise des codes orthogonaux comme les codes de Walsh-Hadamard, la quantité  $C.A.C^T$  est égale à la matrice identité et la matrice  $G$  des coefficients d'égalisation est alors une matrice diagonale avec le coefficient d'égalisation de la  $k^{ème}$  sous-porteuse égal à l'expression (8) donnée dans le paragraphe précédent. On rappelle que, dans l'exemple présenté, les puissances de réception sont les mêmes pour tous les utilisateurs.

En revanche, dans tous les cas où  $N_u < L_c$ , la quantité  $C.A.C^T$  n'est pas une matrice identité et la matrice  $G$  des coefficients d'égalisation n'est pas une matrice diagonale. Le récepteur proposé est alors conforme au schéma de la figure 2.

Si la puissance de réception des signaux des différents utilisateurs n'est pas la même pour tous ces utilisateurs, la nouvelle approche reste optimale vis-à-vis du critère MMSE. Le calcul conduit dans ce cas à une matrice  $A$ , toujours diagonale si les utilisateurs sont indépendants, mais pour un utilisateur  $j$  actif,  $a_{jj}$  peut être différent de 1:

Contrairement à l'approche de l'invention, la technique classique selon le critère du MMSE conduit à une équation (8) non optimale dans les cas de non pleine charge, et même dans le cas de pleine charge cette approche n'est pas



optimale vis-à-vis du critère MMSE si la puissance des différents utilisateurs n'est pas identique.

La matrice  $\mathbf{G}$  est une matrice de dimension  $N_p \times N_p$ . La méthode proposée consiste donc non pas à multiplier chaque symbole généré en sortie de la FFT par un coefficient propre à chaque sous-porteuse, mais à traiter le vecteur signal  $\mathbf{R}$  dans sa globalité conformément au calcul précédent en le multipliant par la matrice  $\mathbf{G}$ .

Cette nouvelle technique de détection nécessite la connaissance des différents codes d'étalement des multiples utilisateurs, et à ce titre, elle peut être classée parmi les techniques de détection multi-utilisateurs de type linéaire.

L'application directe de l'équation (14) nécessite d'inverser la matrice correspondant au dénominateur de cette équation. Dans certains cas, en particulier lorsque la quantité  $\sigma_N^2/E_s$  tend vers zéro, ce qui est vérifié lorsque le rapport signal à bruit est très élevé, la matrice telle qu'elle est exprimée par l'équation (14) peut ne pas être inversible.

Une première possibilité pour contourner cette difficulté consiste à utiliser un dispositif de seuillage de telle façon que la quantité estimée  $\sigma_N^2/E_s$  soit bornée et donc égale au minimum à une valeur qui est optimisée en prenant en compte les paramètres précis du système considéré. Dans ce cas, la matrice est toujours inversible.

Une seconde possibilité pour contourner cette difficulté consiste à utiliser, lorsque la quantité estimée  $\sigma_N^2/E_s$  tend vers zéro, une autre technique de détection comme par exemple la méthode "Orthogonality Restoring Combining" (ORC) présentée dans le paragraphe 2.3.1.

Par ailleurs, une alternative à l'inversion de matrice pour la mise en œuvre de la nouvelle technique de détection proposée, appelée MMSE matriciel, est d'utiliser un processus itératif, s'appuyant sur un algorithme du gradient comme le LMS (Least Mean Square) par exemple. Dans ce cas, la minimisation de l'erreur quadratique moyenne selon le filtrage de Wiener, permet d'obtenir après plusieurs itérations les coefficients optimaux de la matrice d'égalisation  $\mathbf{G}$  donnés par

l'équation (14).

## 6.2 Application aux techniques de détection non linéaire à annulation d'interférences

Il existe principalement trois grandes catégories de détecteurs multi-utilisateurs : les détecteurs à maximum de vraisemblance (Maximum Likelihood Detectors MLD), les détecteurs linéaires comme le détecteur proposé ci-dessus, et les détecteurs non linéaires à annulation d'interférences. Dans ce paragraphe, on s'intéresse plus particulièrement à cette troisième catégorie. Les détecteurs à annulation d'interférence de type parallèle tels qu'illustrés en figure 4, de même que les détecteurs à annulation d'interférences de type série cherchent à estimer l'interférence due aux autres signaux afin de retrancher cette interférence multi-utilisateur au signal reçu. Ce procédé peut être mis en œuvre de façon itérative, à l'aide de plusieurs étages de détection successifs. Différentes techniques de détection mono-utilisateur peuvent ainsi être combinées dans les différents étages. Le nouveau procédé proposé pour la mise en œuvre de l'algorithme de détection MMSE peut, lui aussi, être choisi à chaque étage d'un détecteur multi-utilisateur à annulation d'interférences. Dans ce cas, la matrice  $A$  de l'équation (14) doit être optimisée de façon spécifique à chaque étage. Il devient ainsi possible de combiner des détecteurs multi-utilisateurs linéaires et non linéaires.

A titre d'exemple, la figure 4 présente le schéma de principe d'un détecteur à annulation d'interférences de type parallèle à deux étages mettant en œuvre la nouvelle technique de détection proposée. Dans l'étage initial, les symboles des  $K_U - 1$  autres utilisateurs actifs sont détectés en parallèle en mettant en œuvre le nouvel algorithme MMSE matriciel (matrice d'égalisation  $G1$ ). Il est ainsi possible, après désétalement, "demapping" ( $CBS^{-1}$ ), prise de décision, "mapping" (Codage Binaire à Signal – CBS), étalement et multiplication par la matrice  $H$  des coefficients du canal, d'obtenir une estimation de l'interférence multi-utilisateur qui est alors soustraite au signal reçu. Le deuxième étage effectue ensuite la détection finale en utilisant à nouveau le nouvel algorithme MMSE matriciel (matrice d'égalisation  $G2$ ).

### 6.3 Exemple de résultats

Les résultats présentés sont obtenus avec des processus de Rayleigh indépendants et de même puissance sur chaque sous-porteuse, le canal étant considéré non sélectif en fréquence sur chacune de ces sous-porteuses. Le bruit blanc additif gaussien est aussi généré par des processus de même puissance et indépendants pour chaque sous-porteuse. Les codes utilisés sont de Walsh-Hadamard et le codage binaire à signal est celui d'une MDP4.

La figure 3 présente les performances de différentes techniques de détection mono-utilisateurs avec  $L_c = N_p = 64$  en prenant en compte l'efficacité spectrale en fonction du rapport  $E_b/N_0$  nécessaire pour obtenir un  $TEB = 10^{-3}$ . L'efficacité spectrale maximum est égale à 2 bit/s/Hz, correspondant à un système à pleine charge ( $N_u = L_c = N_p$ ), car les pertes dues à l'intervalle de garde, la synchronisation et l'estimation de canal (porteuses pilotes par exemple) ne sont pas prises en compte.

La courbe (b) donne les performances du système MMSE traditionnel avec les coefficients d'égalisation optimisés indépendamment sur chaque sous-porteuse conformément à l'expression (9) à raison d'un coefficient par sous-porteuse. La courbe (a) correspond aux performances du nouveau système MMSE utilisant l'approche matricielle avec les coefficients de la matrice d'égalisation donnés par l'expression (14). A pleine charge ( $N_u = 64$ ), les performances des deux systèmes MMSE sont identiques. En revanche, lorsque le système n'est pas à pleine charge ( $N_u < 64$ ), le nouveau système MMSE matriciel offre un gain d'environ 2 dB pour  $N_u = 32$  et 16, ce qui correspond à une efficacité spectrale respectivement égale à 1 et 0.5 bit/s/Hz.

25

## REVENDICATIONS

1. Procédé de réception d'un signal mettant en œuvre une modulation à porteuses multiples et à accès multiple par répartition de codes, du type comprenant une étape de démodulation par application d'une transformation mathématique du domaine temporel vers le domaine fréquentiel, une étape d'égalisation du signal transformé et une étape de désétalement du signal égalisé, caractérisé en ce que ladite étape d'égalisation tient compte, pour chacune des composantes dudit signal transformé, des perturbations affectant la porteuse portant ladite composante et au moins une autre desdites porteuses.

2. Procédé de réception selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite étape d'égalisation met en œuvre une matrice d'égalisation portant des coefficients d'égalisation représentatifs du canal de transmission, au moins certains des coefficients autres que les coefficients de la diagonale de la matrice étant parfois non nuls.

3. Procédé de réception selon la revendication 2, caractérisé en ce que les coefficients de ladite matrice de pondération sont déterminés selon la technique du filtrage de Wiener.

4. Procédé de réception selon la revendication 3, caractérisé en ce que ladite matrice de pondération s'écrit :

$$G = H^* \left( H.C.A.C^T.H^* + \frac{\sigma_N^2}{E_s}.I \right)^{-1} \quad (14)$$

avec : H : matrice représentative du canal de transmission ;

C : matrice des codes d'étalement ;

A = {a<sub>ij</sub>} : matrice diagonale avec a<sub>ij</sub> > 0 si l'utilisateur j est actif sinon ;

σ<sub>N</sub><sup>2</sup> : variance du bruit affectant chaque sous-porteuse ;

E<sub>s</sub> : puissance moyenne des signaux reçus ;

I : matrice identité.

5. Procédé de réception selon la revendication 4, caractérisé en ce que la quantité estimée σ<sub>N</sub><sup>2</sup>/E<sub>s</sub> est comparée à une valeur seuil, et remplacée par ladite

valeur seuil lorsqu'elle est inférieure à cette dernière.

**6.** Procédé de réception selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'on met en œuvre une méthode de détection alternative lorsque la quantité estimée  $\sigma_N^2/E_s$  est inférieure à une valeur seuil prédéterminée.

**7.** Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que ladite matrice de pondération est déterminée à l'aide d'un processus itératif mettant en œuvre un algorithme du gradient.

**8.** Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, du type mettant en œuvre une technique de détection multi-utilisateurs, selon laquelle les différents codes d'étalement des multiples utilisateurs sont connus du récepteur,

caractérisé en ce que la même technique d'égalisation est également utilisée dans une étape d'annulation d'interférences d'accès multiples.

**9.** Procédé de réception selon la revendication 8, caractérisé en ce que ladite étape d'annulation d'interférences est itérative, et comprend au moins deux étages d'égalisation successifs.

**10.** Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 8 et 9, caractérisé en ce qu'il met en œuvre :

- une étape initiale délivrant une estimation de l'interférence multi-utilisateur ;
- une étape de soustraction de ladite estimation de l'interférence multi-utilisateur au signal reçu ;
- une étape d'égalisation sur le signal corrigé ainsi obtenu.

**11.** Procédé d'égalisation mis en œuvre dans le procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à 10.

**12.** Dispositif de réception mettant en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11.

où  $\gamma_k$  est le rapport signal à bruit pour la sous-porteuse  $k$ . Lorsque le nombre d'utilisateurs  $N_u$  est inférieur à la longueur  $L_c$  du code, les coefficients de l'égaliseur selon le critère de la minimisation de l'erreur quadratique moyenne sont égaux à :

$$g_k = \frac{h_k^*}{|h_k|^2 + \frac{L_c}{N_u} \cdot \frac{1}{\gamma_x}} \quad (9)$$

où  $\gamma_x$  est le rapport signal à bruit du symbole transmis  $x$ .

Cela est notamment détaillé dans le document de S. Kaiser, "Analytical performance evaluation of OFDM-CDMA mobile radio systems", (Proceedings First European Personal and Mobile Communications Conference (EPMCC'95), Bologna, Italy, novembre 1995, p 215-220).

De la même façon que dans le cas des autres techniques de détection, la fonction d'égalisation est donc effectuée sur chaque sous-porteuse indépendamment en multipliant dans le domaine fréquentiel chacun des  $N_p$  symboles générés en sortie de la FFT par un seul coefficient  $g_k$  propre à chaque sous-porteuse.

### 3. Objectif de l'invention

L'invention a notamment pour objectif de proposer une nouvelle technique d'égalisation, ou de détection, qui soit plus efficace que les techniques connues présentées ci-dessus en MC-CDMA, en particulier lorsque le système ne fonctionne pas à pleine charge, c'est-à-dire lorsque le nombre d'utilisateurs est inférieur à la longueur  $L_c$  du code d'étalement

### 4. Présentation de l'invention

Cet objectif, ainsi que d'autres qui apparaîtront plus clairement par la suite, sont atteints à l'aide d'un procédé de réception d'un signal mettant en œuvre une modulation à porteuses multiples et à accès multiples par répartition de codes, du type comprenant une étape de démodulation par application d'une transformation mathématique du domaine temporel vers le domaine fréquentiel, une étape d'égalisation (ou de détection) du signal transformé et une étape de désétalement

du signal traité.

Selon l'invention, ladite étape d'égalisation tient compte, pour chacune des composantes dudit signal transformé, des perturbations affectant la porteuse portant ladite composante et au moins une autre desdites porteuses.

Ainsi, l'égalisation est effectuée selon une approche différente des techniques connues, qui reposent simplement sur l'application d'un coefficient multiplicateur sur chaque composante. Selon l'invention, on tient compte de l'ensemble des perturbations du canal de transmission, où à tout le moins des perturbations dues à certaines de ces porteuses. On vérifie que cette technique permet d'obtenir de meilleurs résultats, notamment lorsque le système ne fonctionne pas à pleine charge.

De façon avantageuse, ladite étape d'égalisation met en œuvre une matrice d'égalisation portant des coefficients d'égalisation du canal de transmission, au moins certains des coefficients autres que les coefficients de la diagonale de la matrice étant parfois non nuls.

Il est ainsi aisé de mettre en œuvre la technique de l'invention, dans les récepteurs.

Avantageusement, les coefficients de ladite matrice de pondération sont déterminés selon la technique du filtrage de Wiener.

Cette matrice de pondération peut ainsi s'écrire :

$$G = H^* \left( H \cdot C \cdot A \cdot C^T \cdot H^* + \frac{\sigma_N^2}{E_s} \cdot I \right)^{-1} \quad (14)$$

avec : H : matrice représentative du canal de transmission ;

C : matrice des codes d'étalement ;

A = {a<sub>jj</sub>} : matrice diagonale avec a<sub>jj</sub> non nul si l'utilisateur j est actif ;

$\sigma_N^2$  : variance du bruit affectant chaque sous-porteuse ;

E<sub>s</sub> = E {x<sub>j</sub><sup>2</sup>} : puissance des signaux reçus ;

I : matrice identité.

Lorsque  $\sigma_N^2/E_s$  tend vers 0, il peut arriver que cette matrice ne soit pas inversible. Pour pallier ce problème, on peut prévoir que la quantité estimée  $\sigma_N^2/E_s$

## REVENDECATIONS

1. Procédé de réception d'un signal mettant en œuvre une modulation à porteuses multiples et à accès multiple par répartition de codes, du type comprenant une étape de démodulation par application d'une transformation mathématique du domaine temporel vers le domaine fréquentiel, une étape d'égalisation du signal transformé et une étape de désétalement du signal égalisé, caractérisé en ce que ladite étape d'égalisation tient compte, pour chacune des composantes dudit signal transformé, des perturbations affectant la porteuse portant ladite composante et au moins une autre desdites porteuses.
2. Procédé de réception selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite étape d'égalisation met en œuvre une matrice d'égalisation portant des coefficients d'égalisation représentatifs du canal de transmission, au moins certains des coefficients autres que les coefficients de la diagonale de la matrice étant parfois non nuls.
3. Procédé de réception selon la revendication 2, caractérisé en ce que les coefficients de ladite matrice de pondération sont déterminés selon la technique du filtrage de Wiener.
4. Procédé de réception selon la revendication 3, caractérisé en ce que ladite matrice de pondération s'écrit :
 
$$G = H^* \left( H.C.A.C^T.H^* + \frac{\sigma_N^2}{E_s}.I \right)^{-1} \quad (14)$$
 avec : H : matrice représentative du canal de transmission ;  
 C : matrice des codes d'étalement ;  
 A = {a<sub>ij</sub>} : matrice diagonale avec a<sub>ij</sub> non nul si l'utilisateur j est actif ;  
 σ<sub>N</sub><sup>2</sup> : variance du bruit affectant chaque sous-porteuse ;  
 E<sub>s</sub> : puissance moyenne des signaux reçus ;  
 I : matrice identité.
5. Procédé de réception selon la revendication 4, caractérisé en ce que la quantité estimée σ<sub>N</sub><sup>2</sup>/E<sub>s</sub> est comparée à une valeur seuil, et remplacée par ladite



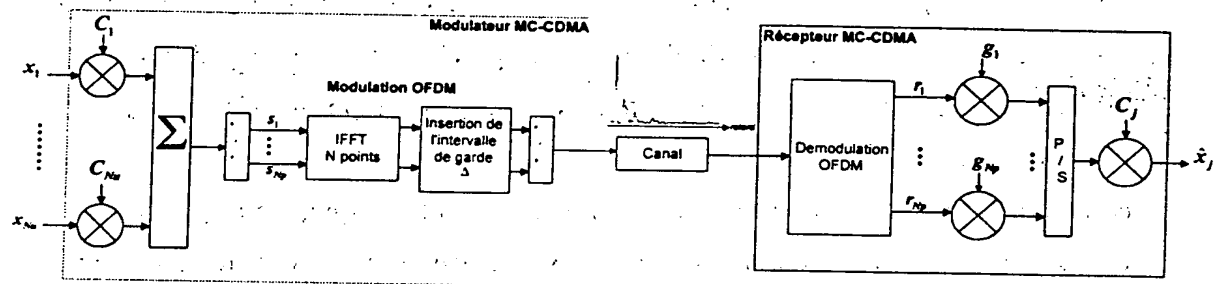


Fig.1

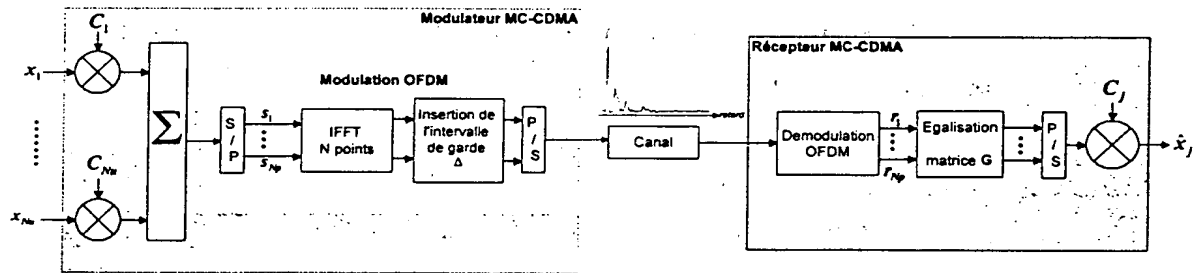


Fig.2

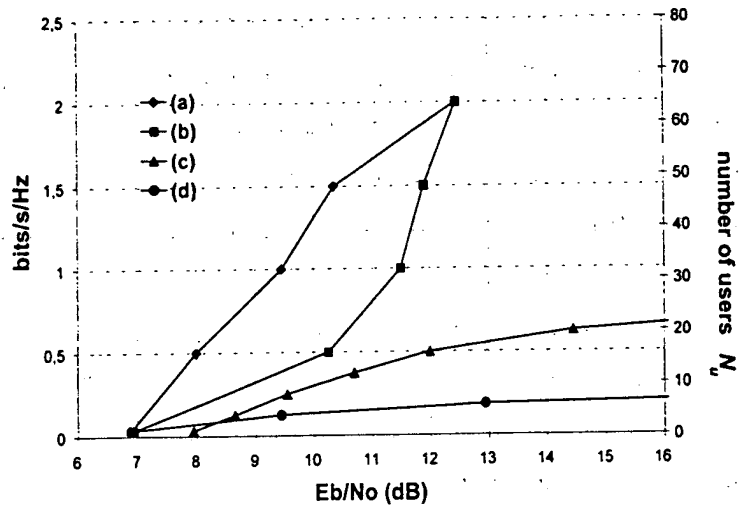


Fig.3

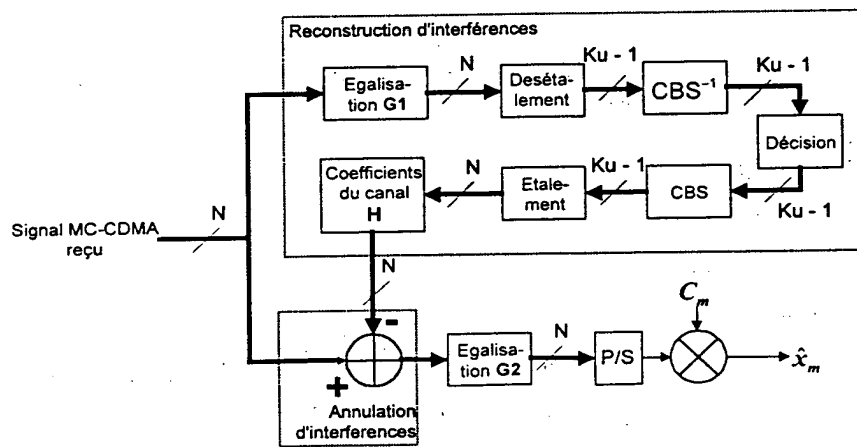


Fig.4

## REVENDECATIONS

1. Procédé de réception d'un signal mettant en œuvre une modulation à porteuses multiples et à accès multiple par répartition de codes d'étalement, du type comprenant une étape de démodulation par application d'une transformation mathématique du domaine temporel vers le domaine fréquentiel, une étape d'égalisation du signal transformé et une étape de désétalement du signal égalisé,

caractérisé en ce que ladite étape d'égalisation tient compte, pour chacune des composantes dudit signal transformé, des perturbations affectant la porteuse portant ladite composante et au moins une autre desdites porteuses et d'au moins certains desdits codes d'étalement.

2. Procédé de réception selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite étape d'égalisation met en œuvre une matrice d'égalisation portant des coefficients d'égalisation représentatifs du canal de transmission, au moins certains des coefficients autres que les coefficients de la diagonale de la matrice étant parfois non nuls.

3. Procédé de réception selon la revendication 2, caractérisé en ce que les coefficients de ladite matrice de pondération sont déterminés selon la technique du filtrage de Wiener appliquée globalement sur l'ensemble du signal reçu, en tenant compte des fonctions de désétalement.

4. Procédé de réception selon la revendication 3, caractérisé en ce que ladite matrice de pondération s'écrit :

$$G = H^* \left( H.C.A.C^T.H^* + \frac{\sigma_N^2}{E_s}.I \right)^{-1} \quad (14)$$

avec : H : matrice représentative du canal de transmission ;

C : matrice des codes d'étalement ;

A = {a<sub>jj</sub>} : matrice diagonale avec a<sub>jj</sub> non nul si l'utilisateur j est actif ;

σ<sub>N</sub><sup>2</sup> : variance du bruit affectant chaque sous-porteuse ;

E<sub>s</sub> : puissance moyenne des signaux reçus ;

I : matrice identité.

5. Procédé de réception selon la revendication 4, caractérisé en ce que la quantité estimée  $\sigma_N^2/E_s$  est comparée à une valeur seuil, et remplacée par ladite valeur seuil lorsqu'elle est inférieure à cette dernière.

6. Procédé de réception selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'on met en œuvre une méthode de détection alternative lorsque la quantité estimée  $\sigma_N^2/E_s$  est inférieure à une valeur seuil prédéterminée.

7. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que ladite matrice de pondération est déterminée à l'aide d'un processus itératif mettant en œuvre un algorithme du gradient.

8. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, du type mettant en œuvre une technique de détection multi-utilisateurs, selon laquelle les différents codes d'étalement des multiples utilisateurs sont connus du récepteur,

caractérisé en ce que la même technique d'égalisation est également utilisée dans une étape d'annulation d'interférences d'accès multiples.

9. Procédé de réception selon la revendication 8, caractérisé en ce que ladite étape d'annulation d'interférences est itérative, et comprend au moins deux étages d'égalisation successifs.

10. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 8 et 9, caractérisé en ce qu'il met en œuvre :

- une étape initiale délivrant une estimation de l'interférence multi-utilisateur ;
- une étape de soustraction de ladite estimation de l'interférence multi-utilisateur au signal reçu ;
- une étape d'égalisation sur le signal corrigé ainsi obtenu.

11. Procédé d'égalisation mis en œuvre dans le procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à 10.

12. Dispositif de réception mettant en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11.

...  
...  
...  
...  
...

...  
...  
...

...  
...  
...

...  
...  
...

...  
...  
...

...  
...  
...

...  
...  
...

...  
...  
...

...  
...  
...

...  
...  
...

...  
...  
...

...  
...  
...

...  
...  
...

